

УДК 666.3.015

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ СВЕТОТРАНСФОРМИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ

**А. О. ДОБРОДЕЙ, Е. Н. ПОДДЕНЕЖНЫЙ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

Существуют различные способы создания белого света с помощью светодиодов (СД). Но в основном белые СД изготавливаются на основе синего кристалла и желтого люминофора. Кристалл покрывается слоем геля с порошком люминофора. Толщина слоя такова, чтобы часть синего излучения возбуждала люминофор, а часть проходила без поглощения (рис. 1). Этот способ прост и в настоящее время наиболее экономичен.

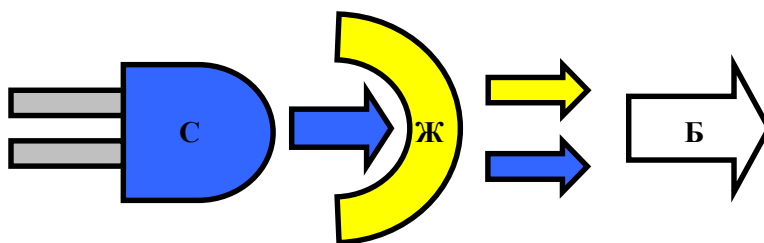


Рис. 1. Получение белого света смешением излучений синего светодиода и желтого люминофора: С – синий свет, Ж – желтый, Б – белый

Большинство производителей белых СД используют в качестве желтого люминофора иттрий-алюминиевый гранат, легированный трехвалентным церием (ИАГ,  $\text{YAG:Ce}^{3+}$ ). Спектр люминесценции таких люминофоров характеризуется максимальной длиной волны в диапазоне 530–560 нм.

Существуют также люминофоры на основе силикатных и оксинитридных систем. К настоящему времени для силикатных люминофоров не достигнуто такое же высокое значение квантовой эффективности, как для  $\text{YAG:Ce}^{3+}$  (более 90 %). Создание оксинитридных люминофоров имеет более сложную технологию синтеза.

Люминофоры на органической основе до сих пор не слишком долговечны, чтобы использоваться в мощных промышленных и бытовых светильниках, неорганические же получают в условиях высоких температур синтеза, что не позволяет наносить их непосредственно в виде пленок на подложки из стекла или полимера.

Люминофор на основе ИАГ обладает определенными недостатками: узкая полоса возбуждения, ограничения на индекс цветопередачи и цветовую температуру излучения СД. Тем не менее, эффективность таких люминофоров довольно высока.

Основные идеи актуальных разработок в этом направлении следующие:

- использование в качестве активатора двухвалентного европия с широкой полосой возбуждения;

- построение матрицы люминофора на группировках  $\text{SiN}^+$  (высокая стабильность) и  $\text{AlO}^+$  (необходимый цвет излучения, высокая квантовая эффективность);

– координационная сфера активатора составлена атомами кислорода и азота.

Одним из последних направлений в области технологии преобразования цвета излучения при изготовлении белых СД является использование люминесцирующей керамики, которая позволит получать светодиоды с высокой однородностью цвета и повышенной временной стабильностью.

К светодиодам белого цвета, используемых для систем освещения, предъявляются следующие требования:

- однородность света;
- малый разброс по координатам цветности;
- высокая световая отдача СД;
- высокая цветовая однородность;
- определенная цветовая температура.

Известны различные способы размещения люминофора-преобразователя относительно кристалла светодиода (рис. 2) [1].

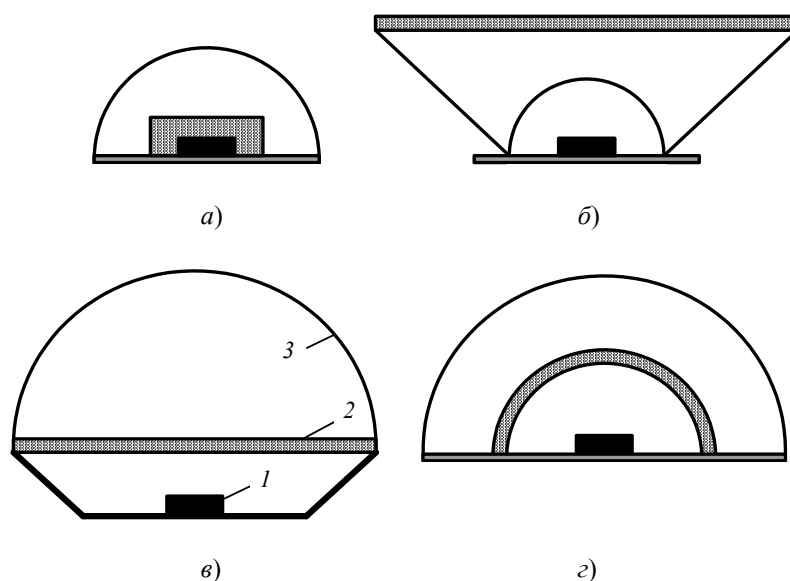


Рис. 2. Варианты расположения люминесцентных преобразователей относительно кристалла СД: а – нанесение компаунда на поверхность кристалла; б – удаленная светотрансформирующая пластина; в – удаленная светотрансформирующая пластина с линзой (1 – кристалл СД синего цвета; 2 – люминофор-преобразователь; 3 – линза); г – люминофорное покрытие на внутренней поверхности полусферической линзы

Люминофорные покрытия требуемой толщины наносят в виде суспензий. Толщина люминофорных покрытий определяется размером частиц люминофора и колеблется в диапазоне 15–30 мкм. В качестве связующих материалов, определяющих вязкость суспензий и прочность люминофорных покрытий, применяют различные полимеры.

В НИЛ ТХН ГГТУ им. П. О. Сухого разработана улучшенная методика синтеза порошковых микрокристаллических люминесцентных материалов путем соосаждения гидроксидов иттрия и алюминия аммиаком с последующей термообработкой (рис. 3, а).

Также разработана и патентуется в настоящее время новая методика формирования наноструктурированных порошкообразных материалов на основе ИАГ, легированного ионами переходных и редкоземельных элементов (Fe, Mn, Cr, Eu, Се и др.) методом термохимической реакции горения (рис. 3, б), являющихся

исходными материалами для получения высокоплотной керамики и композитов для создания белых СД. Установлено, что при соблюдении оптимальных режимов идентифицируется фаза граната кубической модификации  $Y_3Al_5O_{12}$ .

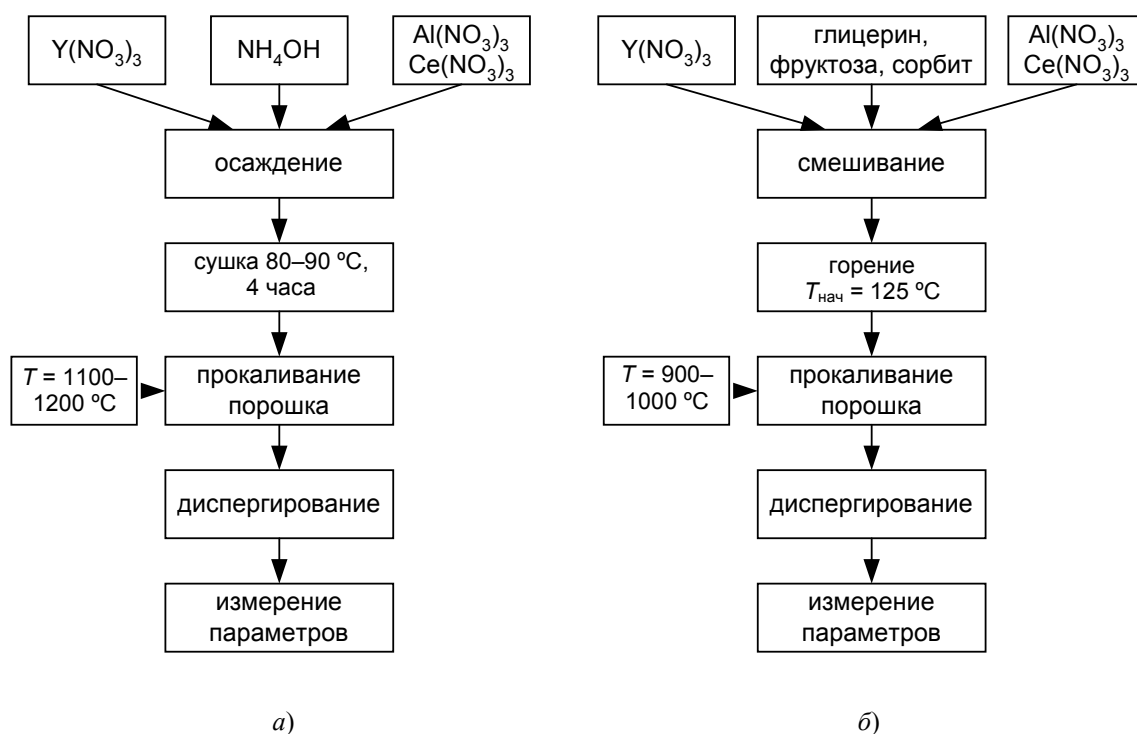


Рис. 3. Схемы получения порошка иттрий-алюминиевого граната:  
а – метод осаждения; б – метод горения

В НИЛ ТКН получена люминесцентная керамика на основе порошка ИАГ и исследованы ее люминесцентные характеристики (рис. 4).

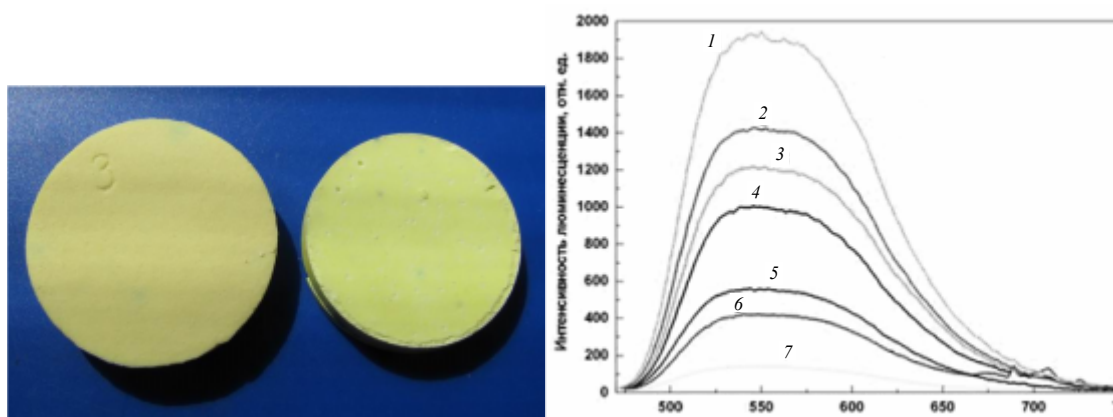


Рис. 4. Люминесцентная керамика на основе ИАГ, легированного церием и спектры ее люминесценции ( $\lambda_{\text{возб}} = 455 \text{ нм}$ ): 1 – YAG–SiO<sub>2</sub>, A3Ce;  $T = 1500 \text{ °C}$ ,  $t = 2 \text{ ч}$ ; 2 – YAG–SiO<sub>2</sub>, A3Ce;  $T = 1550 \text{ °C}$ ,  $t = 2 \text{ ч}$ ; 3 – Si–B–Ce – 0,15 г,  $T = 1600 \text{ °C}$ ,  $t = 1 \text{ ч}$ ; 4 – Si–B–Ce – 0,05 г,  $T = 1600 \text{ °C}$ ,  $t = 1 \text{ ч}$ ; 5 – YAG–SiO<sub>2</sub>, A2Ce;  $T = 1400 \text{ °C}$ ,  $t = 2 \text{ ч}$ ; 6 – Si–B–Ce – 0,015 г,  $T = 1600 \text{ °C}$ ,  $t = 1 \text{ ч}$ ; 7 – YAG–SiO<sub>2</sub>, A3Ce;  $T = 1300 \text{ °C}$ ,  $t = 2 \text{ ч}$

На основе порошка ИАГ получено люминесцентное покрытие и исследованы его люминесцентные характеристики (рис. 5).

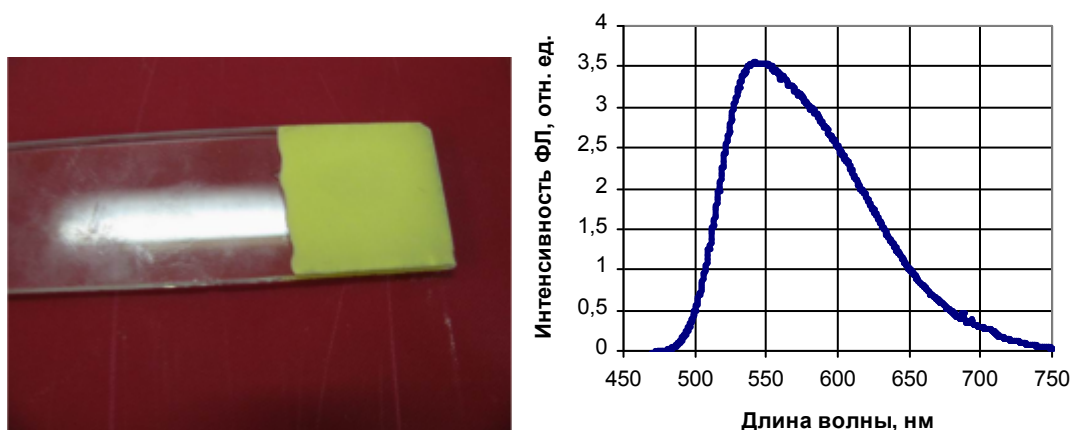


Рис. 5. Люминесцентное покрытие на стекле и спектр его люминесценции ( $\lambda_{\text{возб}} = 455 \text{ нм}$ )

Авторами разработана и запатентована конструкция светодиодной лампы (рис. 6) [2], которая предназначена для эксплуатации внутри помещений в качестве источника рассеянного белого света и может использоваться для прямой замены ламп накаливания и галогенных ламп с цоколем типоразмера E27.

Задача, на решение которой направлена конструкция лампы [2], заключается в увеличении срока службы лампы и повышение однородности светового потока.

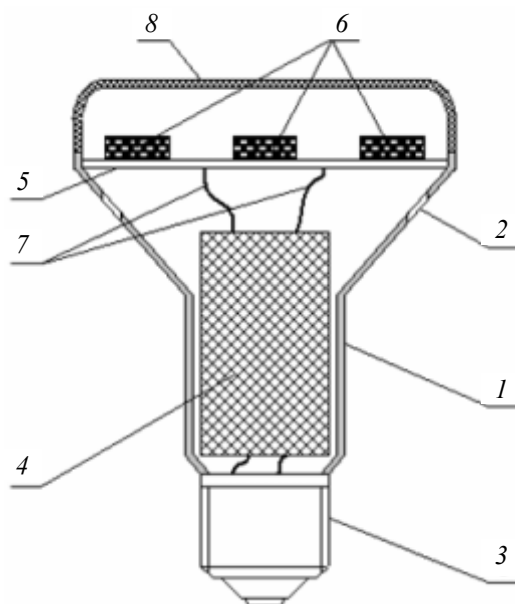
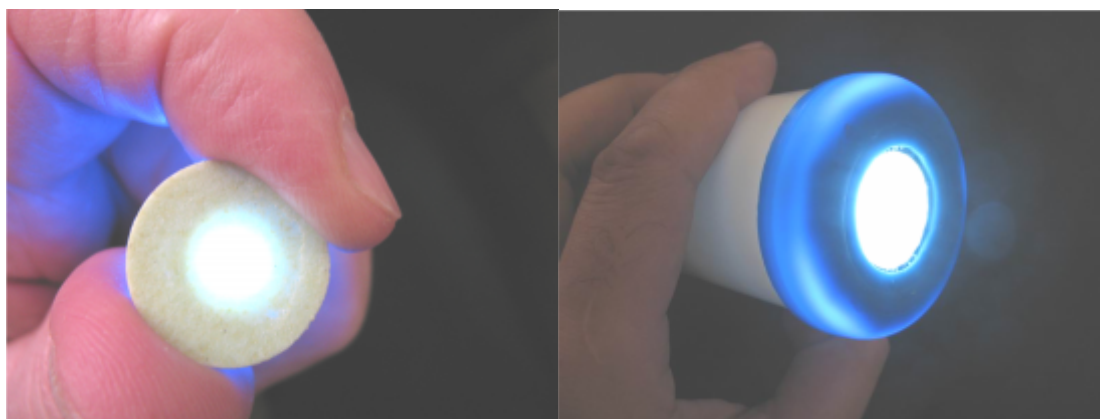


Рис. 6. Лампа светодиодная: 1 – полимерно-керамический корпус; 2 – вентиляционные отверстия; 3 – цоколь E27; 4 – блок питания; 5 – теплопроводящая подложка; 6 – синие светодиоды мощностью 1 или 3 Вт; 7 – проводники; 8 – рассеиватель, выполненный в виде преобразователя света (термостойкая пластина или сегмент сферы)

Лампа (рис. 6) состоит из цоколя типоразмера E27, композитного полимерно-керамического корпуса, в котором находится блок питания, преобразующий переменное напряжение сети 220 В в постоянное напряжение 12 В, проводников и теплопроводящей подложки, с расположенными на ней светодиодами синего цвета свечения. В верхней части корпуса расположен рассеиватель – термостойкая полимерно-керамическая пластина с распределенными в ней частицами люминофора (рис. 7, а), которая преобразует свечение синих светодиодов в белый

рассеянный свет. Люминофор в виде покрытия может быть нанесен на внутреннюю или внешнюю поверхность рассеивателя (рис. 7, б).



а)

б)

Рис. 7. Образцы люминесцентных преобразователей:

а – композит  $\text{SiO}_2\text{--YAG:Ce}^{3+}$  при возбуждении люминесценции синим светодиодом;

б – макет осветительного прибора на основе синих светодиодов и люминесцентного преобразователя

### Заключение

Разработаны методики синтеза порошкообразных материалов, активированных ионами редкоземельных элементов для преобразования излучения синих СД в белый свет, которые могут быть использованы в качестве исходного сырья для получения люминесцирующих полимерно-керамических композитов и оптической керамики.

Изучение спектрально-люминесцентных характеристик, полученных порошков и композитов на их основе подтвердило перспективность их применения для оптоэлектроники и систем освещения.

Авторами разработана и запатентована конструкция светодиодной лампы, которая предназначена для эксплуатации внутри помещений в качестве источника рассеянного белого света и может использоваться для прямой замены ламп накаливания и галогенных ламп с цоколем типоразмера Е27.

Авторами подготовлена и подана заявка на изобретение «Способ получения наноструктурированного порошка ИАГ, легированного церием».

### Литература

1. Allen, S. C. A nearly ideal phosphor-converted white light-emitting diode / S. C. Allen, A. J. Steckl // Applied physics letters 92, 143309 (2008).
2. Добродей, А. О. Лампа светодиодная : пат. на полезную модель РБ / А. О. Добродей, Е. Н. Подденежный. – № 6440 ; получ. 03.05.2010 ; опубл. 30.08.2010 // Афiц. бюл. / Нац. цэнтр iнтэлектуал. уласнасцi. – 2010. – № 4 (75). – С. 236.

Получено 09.11.2010 г.